

Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 58 (1966)
Heft: 8-9

Artikel: L'aménagement hydro-électrique Hongrin-Leman : quelques problèmes techniques soulevés par sa réalisation
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-921172>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 02.04.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Introduction

Il peut paraître fastidieux, après plusieurs décennies de construction d'aménagements hydro-électriques en Suisse et de publications à ce sujet, de reprendre encore une fois par le menu la description d'un nouvel aménagement. Aussi avons-nous choisi de nous limiter, dans cet article consacré à l'aménagement hydro-électrique Hongrin-Léman, à un bref rappel historique et à une description sommaire complétée par quelques plans principaux. Nous nous étendrons par contre plus longuement sur certains problèmes particuliers ou relativement nouveaux rencontrés en ce début de construction de l'aménagement, pensant ainsi intéresser davantage le lecteur.

La personne qui désirerait avoir des renseignements plus complets sur l'aménagement, trouverait dans le No 11 (1. 6. 63) et le No 24 (27. 11. 65) du Bulletin Technique de la Suisse Romande, deux articles dont le premier donne certains détails sur l'hydrologie et la géologie du projet, et le second, sur l'évolution intervenue ces dernières années. On trouvera également dans le catalogue suisse du génie civil, édition 1966, un texte en français et en allemand décrivant l'aménagement. De plus, un tableau en fin d'article donne les caractéristiques principales du projet.

Evolution du projet et état actuel

L'idée à la base du premier projet — soit en 1941/42 lorsque la Compagnie d'études de travaux publics (CETP) s'est lancée dans cette aventure de l'Hongrin — était de dériver vers le Léman quelques affluents de la Sarine, ce qui permettait d'obtenir, sur une distance relativement courte, une différence de niveau économiquement intéressante. On pouvait alors imaginer que ce détournement d'eaux appartenant au bassin du Rhin au profit de celui du Rhône allait soulever un certain nombre de difficultés: dix-neuf années se sont en effet écoulées entre la demande de concession, présentée en 1944 par la CETP, et l'octroi de celle-ci à la Société des Forces Motrices Hongrin-Léman, société de partenaires comprenant la Compagnie vaudoise d'électricité (62 %), les Entreprises électriques fribourgeoises (23 %), la Société romande d'électricité (10 %) et les Services industriels de la ville de Lausanne (5 %).

Ces dix-neuf années de discussions tour à tour âpres et courtoises entre les cantons de Vaud et de Fribourg n'ont cependant pas été totalement perdues: elles ont permis à la CETP d'étudier de nouvelles variantes et d'apporter d'importantes modifications au projet primitif. En effet, d'une part la quantité d'eau turbinée a été sensiblement augmentée par des dérivations supplémentaires et, d'autre part, l'aménagement classique à accumulation s'est transformé en un aménagement de pompage-turbinage à forte puissance, complément indispensable et bienvenu des futures centrales thermiques classiques et nucléaires. Nous reviendrons plus loin sur cette caractéristique essentielle de l'aménagement ainsi que sur le choix de la puissance installée, choix intervenu un an après l'octroi de la concession et le début des travaux, nous obligeant ainsi à reprendre pour la n-ième fois le projet de l'Hongrin-Léman; notons en passant que ce ne sera pas la dernière puisque nous étudions actuellement de nouveaux compléments à l'aménagement.

Les dessins du dépliant montrent les dispositions générales et le profil en long de l'aménagement de la chute Hongrin-Léman tel qu'il est actuellement projeté et en cours de construction. A fin mai 1966, un quart environ du total des excavations était achevé et le bétonnage des barrages en était à son début. Les caractéristiques de ces barrages, issus d'un avant-projet de la CETP et des calculs et dessins d'exécution de M. Gicot, ingénieur-conseil, ressortent de l'examen du dépliant. Leurs dimensions audacieuses ont été admises par la Confédération après de longues discussions et à condition que l'accumulation de 52 millions de mètres cubes utiles puisse être vidangée rapidement. Cette condition nous a conduits à prévoir certains organes de vidange assez originaux auxquels nous consacrons plus loin un paragraphe spécial.

La réalisation des barrages a posé deux problèmes relativement nouveaux: celui de l'alcali-réaction due à la présence de silice dans les agrégats exploités sur place et un problème de fondation, dû à la présence sous une partie du barrage sud de deux roches de caractéristiques différentes. Nous reprenons ci-dessous ce problème de fondation.

Le dépliant complète les renseignements généraux et montre les dispositions adoptées pour les parties inférieures de l'aménagement et la centrale souterraine située à Veytaux au bord du lac Léman.

Etude de la fondation du barrage sud

Le barrage sud, situé dans la vallée du Petit-Hongrin, s'appuie sur rive droite contre la colline de la Jointe.

Lors de l'excavation de la fouille, on a rencontré dans cette zone un calcaire du Crétacé supérieur appelé «couches rouges». Les caractéristiques de cette roche sont différentes de celles de l'ensemble du massif rocheux formé par du Néocomien: elles s'en distinguent essentiellement par une plus grande déformabilité.

Afin que les déformations du barrage sur son assise restent sensiblement les mêmes que celles correspondant à une assise théorique dans le Néocomien, supposé homogène et isotrope, le socle de fondation a été agrandi dans cette zone (voir fig. 1).

Pour lever certaines incertitudes dans le calcul du comportement de la fondation du barrage, en tenant compte de l'influence des couches rouges plus déformables, nous avons procédé à des essais sur modèle réduit par photo-élasticimétrie dans le Laboratoire de la CETP.

Le but de ces essais était de déterminer:

- la répartition des contraintes le long de la fondation pour les deux cas de charge, lac vide et lac plein,
- les déplacements verticaux du pied amont et du pied aval du barrage.

Deux modèles à l'échelle 1:200 ont été réalisés pour pouvoir comparer le comportement du barrage sur deux assises de qualité différente. Le premier modèle, caractérisé par une fondation homogène, était destiné à représenter la fondation du barrage dans du Néocomien, supposé homogène. Le second modèle devait représenter une fondation composée de Néocomien et de Crétacé supérieur.

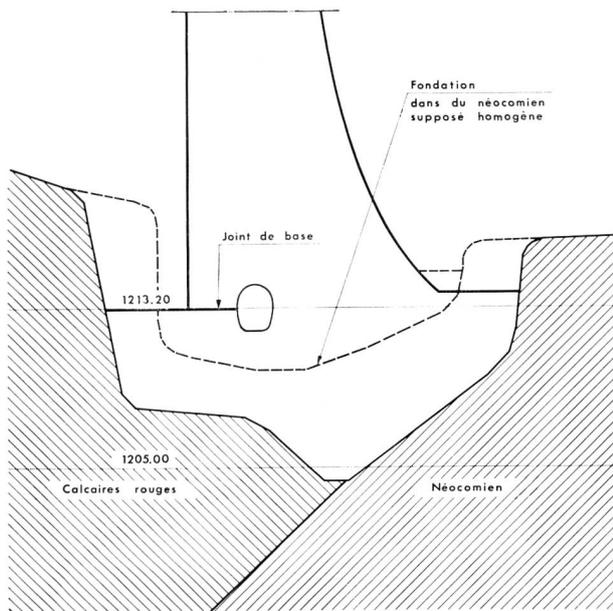


Fig. 1 Hongrin — Barrage Sud
Profil-type pour fondation sur roche composée:
aval: de Néocomien (calcaire gris)
amont: de Crétacé supérieur (couches rouges)

En réalité ni le béton, et encore moins un massif rocheux, ne sont des matériaux parfaitement élastiques et homogènes. Toutefois, il faut admettre des hypothèses simplificatrices pour rendre possible le traitement de ce problème de contraintes très complexe. Nous avons donc admis que le barrage et sa fondation formaient un solide élastique, isotrope et homogène.

La transposition des valeurs de contraintes obtenues par l'essai sur modèle avec une grande précision ne pouvait néanmoins donner qu'une approximation à cause de l'hétérogénéité naturelle d'une roche fissurée.

Le modèle I a été réalisé par une plaque d'épaisseur constante correspondant à des caractéristiques identiques pour le béton du barrage et pour le massif de fondation.

Le rapport n des modules d'élasticité de ces deux matériaux est égal à 1.

$$n = \frac{E_b}{E_n} = 1$$

où E_n = module d'élasticité du Néocomien
 E_b = module d'élasticité du béton de l'ouvrage.

Pour le modèle II, deux épaisseurs de plaque, de la même matière, ont été utilisées: la plus grande déformabilité des couches rouges par rapport au Néocomien a été représentée en réduisant l'épaisseur dans cette zone de la fondation à environ la moitié de l'épaisseur du reste du modèle.

Ainsi les rapports entre les modules d'élasticité de la fondation et celui du béton du barrage étaient les suivants:

$$n_1 = \frac{E_n}{E_b} = 1$$

$$n_2 = \frac{E_{cr}}{E_b} = 0,39$$

où E_{cr} = module d'élasticité du Crétacé supérieur (couches rouges)

Sur la base des mesures effectuées in situ, on pouvait admettre que le rapport n_2 était de l'ordre de 0.50. Les dispositions du modèle étaient donc légèrement plus défavorables que celles correspondant à la réalité.

Pour chaque cas de charge, nous avons relevé l'image des lignes isochromes (lignes d'égale différence des contraintes principales $\sigma_1 - \sigma_2$) et celles des lignes isoclines (lignes d'égale orientation des contraintes principales).

Parallèlement, nous avons effectué des mesures de déplacement du pied amont et du pied aval du barrage à l'aide de comparateurs de précision.

Nous montrons, ci-après, deux images caractéristiques de lignes isochromes pour le cas de charge, lac vide, modèles I et II (figures 2 et 3). Ces lignes donnent un aperçu général de la sollicitation du massif rocheux. Une comparaison des deux figures montre que la formation de l'image des lignes isochromes est assez différente dans la fondation, bien que ces lignes soient pratiquement identiques dans le corps du barrage.

Sur la base de ces photographies et du relevé des lignes isoclines, nous avons pu déterminer la répartition des contraintes le long de la surface de contact. L'exploitation des résultats a montré d'autre part que l'agrandissement du socle de fondation était judicieusement choisi: en effet aucune anomalie n'apparaît dans la répartition des contraintes et dans les déformations.

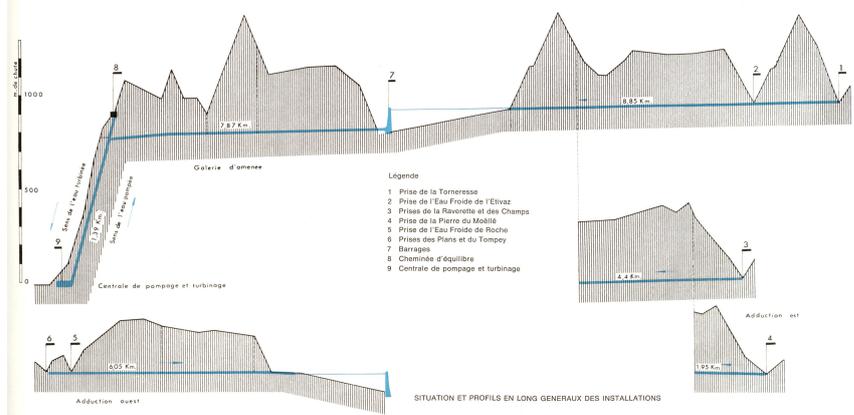
Les organes de vidange rapide de l'accumulation

La vidange rapide de l'accumulation impose un débit initial de 175 m³/s; or, le cours de la Sarine au-dessous de Montbovon ne permet pas le passage d'un débit supérieur à 130 m³/s. Il fallait donc trouver un complément en direction du Léman.

Examinons tout d'abord l'installation de vidange aux barrages qui doit donc comporter un dispositif capable d'évacuer 130 m³/s au maximum. Une installation de cette importance, avec une hauteur de chute brute de 115 m jusqu'au talweg, aurait nécessité, avec une vanne classique, soit un conduit d'évacuation assez long pour détruire l'énergie dans une zone éloignée du barrage, soit un ouvrage de protection pour éviter tout affouillement du pied des ouvrages. Depuis quelques années certains constructeurs ont lancé sur le marché un type de vanne dit vanne à jet creux, qui disperse le jet en couronne conique divergente, le divise en gouttelettes et le laisse retomber sur une surface assez étendue après lui avoir fait perdre ainsi la plus grande partie de son énergie: une telle vanne nous a été proposée par les Ateliers des Charmilles à Genève.

Une première étude montra les avantages économiques et techniques que l'on peut tirer d'un fractionnement du débit entre deux pertuis: l'offre porta donc sur deux vannes à jet creux capables de donner chacune à pleine ouverture un débit de 65 m³/s sous une charge de 83.60 mètres. Premier problème, comment garantir ce débit; deuxième problème, comment se dispersent les jets de ces vannes. Le plus simple était de charger le Laboratoire d'Hydraulique de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Lausanne d'un essai sur modèle réduit. Celui-ci eut lieu au moyen de deux vannes à l'échelle 1:20 figurant non seulement la vanne à jet creux avec son fourreau mobile, mais également tout le dispositif amont avec la vanne papillon de garde. Les questions que le Laboratoire avait à résoudre étaient les suivantes:

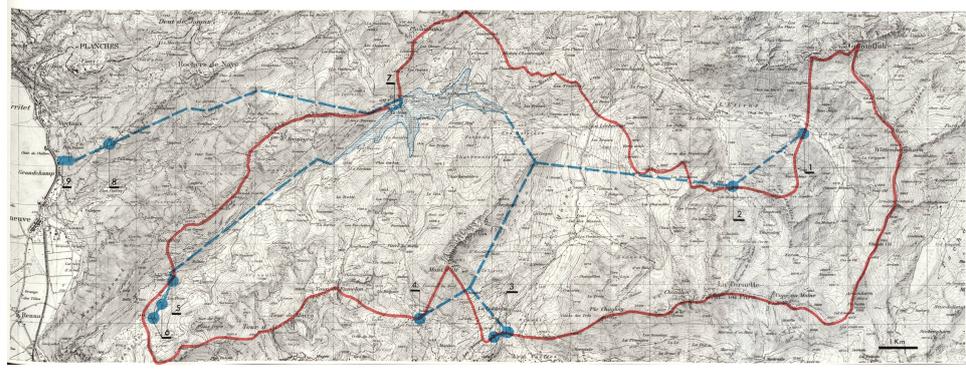
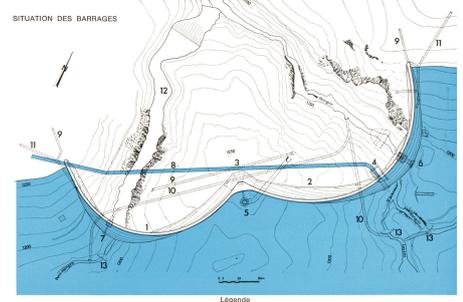
- établir le coefficient de débit dans des conditions de pression désirées et certifier qu'en vraie grandeur les vannes débiteraient bien le débit prescrit de 65 m³/s chacune,
- établir une position relative des deux vannes et une position dans le barrage les plus favorables quant aux retombées d'eau.



ADUCTIONS



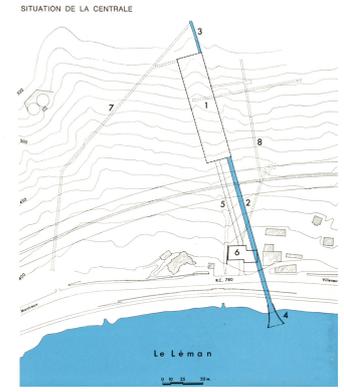
AMENÉE

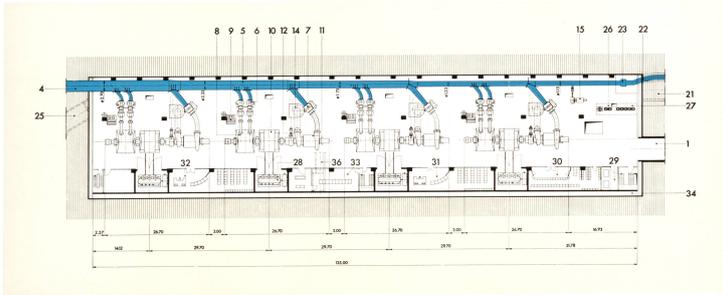


CANAL DE FUITE

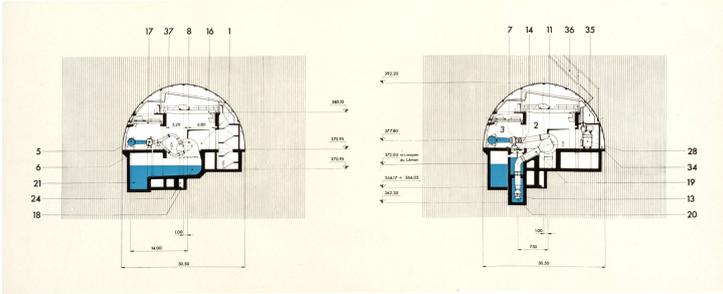


- Légende**
- 1 Centrale
 - 2 Canal de fuite
 - 3 Puits blindé
 - 4 Tête aval
 - 5 Galerie d'accès
 - 6 Bâtiment de service
 - 7 Fenêtre de Repremier
 - 8 Galeries de reconnaissance





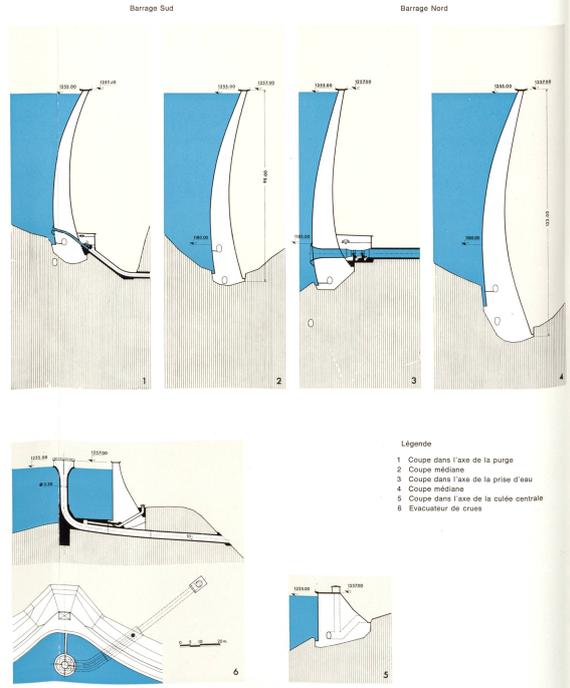
Coupe horizontale au niveau de la salle des machines



Coupe transversale au droit d'une turbine

Coupe transversale au droit d'une pompe

- 1 Galerie d'accès à la Centrale
- 2 Salle des machines
- 3 Galerie des vannes
- 4 Puits blindé
- 5 Collecteur-distributeur
- 6 Vannes Ø 750 mm
- 7 Vanne Ø 1000 mm
- 8 Turbines 60 MW
- 9 Régulateur
- 10 Alternateur-moteur 75 MVA
- 11 Pompe principale 60 MVA
- 12 Turbine de lancement de la pompe principale
- 13 Pompe de mise en charge de la pompe principale
- 14 Turbine d'entraînement de la pompe de mise en charge
- 15 Groupe auxiliaire
- 16 2 Ponts roulants 65/16 t
- 17 1 Pont roulant 32/3 t
- 18 Fosse de turbine
- 19 Aspiration de la pompe principale
- 20 Fosse de la pompe de mise en charge
- 21 Canal de fuite
- 22 Conduite de vidange au Léman
- 23 Vannes de garde de la conduite de vidange au Léman
- 24 Galerie des eaux d'infiltration
- 25 Réservoir d'eau de réfrigération
- 26 Pompe de reprise des eaux d'infiltration
- 27 Pompes de réfrigération
- 28 Transformateurs 75 MVA
- 29 Transformateur des Services internes
- 30 Salle de commande des Services internes
- 31 Salle de commande des groupes 1 et 2
- 32 Salle de commande des groupes 3 et 4
- 33 Salle d'appareillage commun aux 4 groupes
- 34 Galerie des câbles BT
- 35 Galerie des câbles 220 kV
- 36 Puits des câbles 220 kV
- 37 Passerelle d'accès aux ponts roulants



- Légende
- 1 Coupe dans l'axe de la purge
 - 2 Coupe médiane
 - 3 Coupe dans l'axe de la prise d'eau
 - 4 Coupe médiane
 - 5 Coupe dans l'axe de la culée centrale
 - 6 Evacuateur de crues

Fig. 2
Hongrin — Barrage Sud
Cas de charge, lac vide.
Modèle I: rocher supposé
uniforme (Néocomien)
Lignes isochromes
en lumière de sodium
polarisée circulairement.
Matière CR 39.

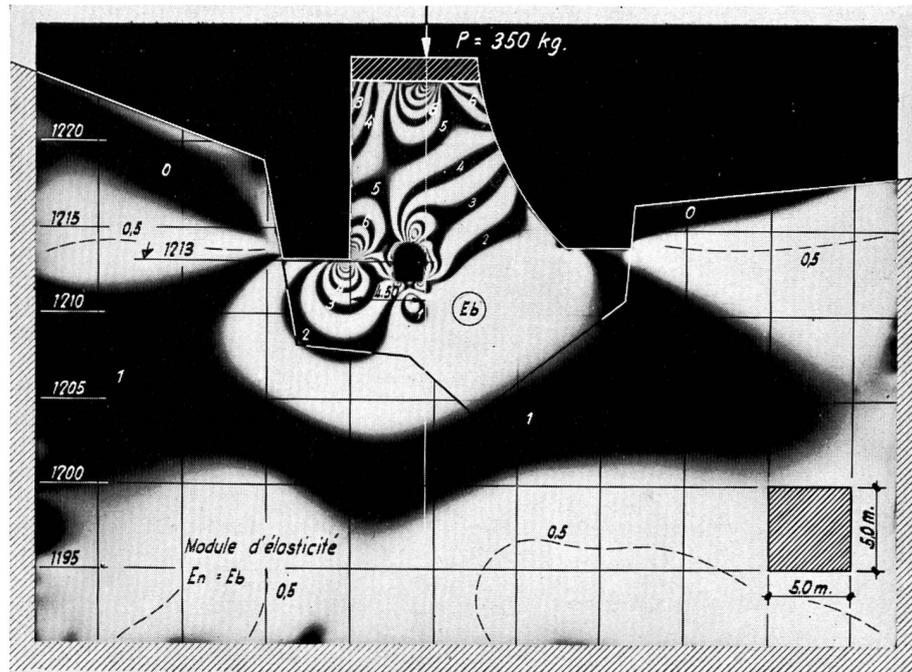
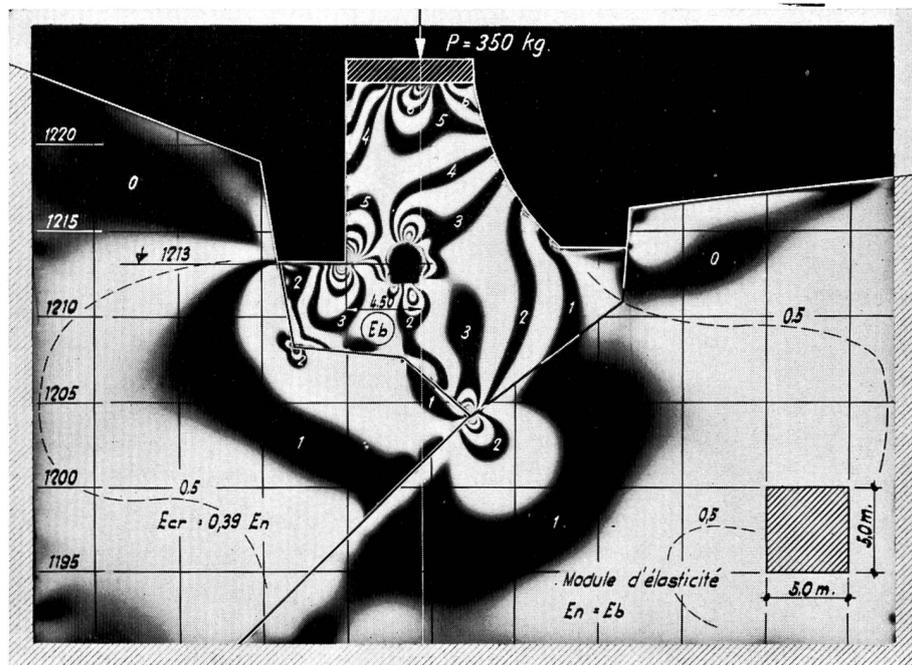


Fig. 3
Hongrin — Barrage Sud
Cas de charge, lac vide.
Modèle II: rocher composé
(Crétacé et Néocomien)
Lignes isochromes
en lumière de sodium
polarisée circulairement.
Matière CR 39.



A cet effet le Laboratoire a construit à l'échelle une représentation sommaire de la vallée et a déterminé le périmètre de la surface d'impact dans de nombreuses positions des vannes et différentes conditions de fonctionnement. Les essais simulaient non seulement les conditions de charge et de débit maximum mais voulaient également montrer le comportement des jets pour lac partiellement vide ou pour ouverture partielle des vannes. Il s'agissait en effet d'éviter un danger d'affouillement au pied du barrage dans tous les cas de fonctionnement.

L'examen des résultats des essais nous a conduits à prendre les dispositions suivantes:

- convergence des vannes: 10°
- angle de relèvement des axes: 10°
- disposition aussi symétrique que possible par rapport à l'axe principal de la vallée à l'aval immédiat du barrage.

La figure 4 montre une vue photographique du modèle en fonctionnement pour une demi-ouverture des vannes.

En outre ces essais ont montré que les vannes à jet creux de \varnothing 1650 mm, précédées d'une vanne papillon de même diamètre, évacuent un débit de $65 \text{ m}^3/\text{s}$ pour une ouverture du cône de dispersion de 90° (ou plus) et pour une ouverture de 850 mm ou plus.

Vint ensuite le dispositif de vidange à prévoir vers le Léman. Il s'agissait donc d'évacuer $45 \text{ m}^3/\text{s}$ par cette voie: étant donné la chute considérable entre l'accumulation de l'Hongrin et le Léman, la destruction de cette énergie (valeur brute 530 000 CV dont une partie se dissipe par pertes de charge dans les conduites) représentait un problème assez ardu. Plusieurs constructeurs consultés ne manifestèrent qu'un intérêt assez modéré et aucune solution satisfaisante ne put être retenue. Citons parmi celles-ci un destructeur d'énergie constitué par une série de vannes et de tuyères englobées dans une caverne qui, outre son volume d'excavation assez considérable, présentait des difficultés quant à la surveillance et l'entretien, et des inconnues quant



Fig. 4 Vidange des barrages. Modèle réduit des vannes à jet creux. Essais en laboratoire, à demi-ouverture. (Photo EPUL)

aux vibrations. Diverses considérations conduisirent la CETP à proposer un jet direct s'élançant d'un ouvrage placé sur la rive, solution qui pouvait présenter certains risques et dont la mise en exploitation semblait demander d'amples mesures de protection.

Avant de solliciter des offres de constructeurs, nous avons simplifié le problème en fractionnant le débit: nous avons en effet admis que lorsque viendrait l'ordre de vidange urgente, on pouvait exceptionnellement, même si la production et l'évacuation d'énergie électrique étaient empêchées, abaisser les déflecteurs des turbines Pelton et laisser pendant quelques heures l'eau s'écouler par ces injecteurs ouverts à plein, quitte à risquer quelques dommages localisés aisément réparables. Nous avons d'autre part admis que 3 groupes sur 4 étaient disponibles: on pouvait donc de cette manière évacuer 25 m³/s. Les 20 m³/s restants devaient être évacués par une vanne spéciale, située

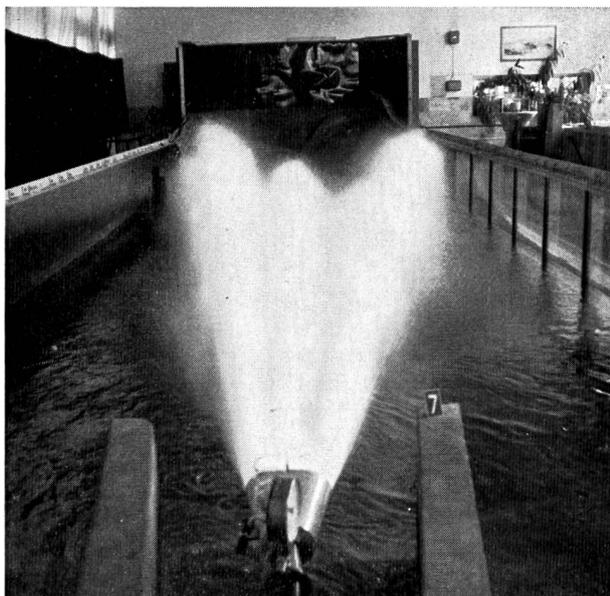


Fig. 5 Vidange au Léman. Modèle réduit de la vanne à jet creux. Essais en laboratoire à pleine ouverture. (Photo MAN)

en bout d'une conduite de vidange prolongeant le collecteur/distributeur.

Pour trouver une solution techniquement valable au problème de la destruction de l'énergie nous avons songé, là aussi, à la vanne à jet creux et avons retenu l'offre de MAN (Maschinenfabrik Augsburg Nürnberg) qui proposait en première étape une série d'essais dans son laboratoire. Ces essais effectués à l'échelle 1:14 ont permis de préciser le débit de la vanne et la forme d'un brise-jet détruisant suffisamment l'énergie sans provoquer la formation d'un brouillard dangereux pour la voie ferrée et la route.

La commande définitive a porté sur une vanne dont l'axe est relevé de 10° sur l'horizontale; le brise-jet a la forme d'une enveloppe légèrement évasée et ovalisée aux dimensions de 2000 mm x 3500 mm à la sortie.

Après pulvérisation et une première dispersion par la vanne sous un angle très ouvert, le déflecteur reconcentre le jet sans en agglomérer les gouttelettes tout en brisant une partie de leur énergie.

Le résultat escompté doit être un jet modérément évasé et de texture finement divisée, jet qui atteindrait une distance de 240 m au large sans risque d'être rabattu par le vent sur la rive (fig. 5) ni de provoquer de fortes vagues.

Travaux d'injection

A part les travaux d'injection classiques et normaux, nécessaires à la création d'un voile d'étanchéité dans la zone des barrages, et ceux qui seront exécutés dans la galerie d'aménée sous pression, l'aménagement de la chute Hongrin-Léman a posé un certain nombre de problèmes dont la solution a pu être trouvée complètement ou partiellement par l'exécution d'injections (voir fig. 6 et 7). Parmi ces travaux nous nous étendrons plus en détail sur la traversée de la zone des sources de Grandchamp par le puits blindé, nous réservant de revenir sur les autres travaux d'injection dans un prochain article.

La présence des sources de Grandchamp, à proximité immédiate du puits blindé, présentait un danger certain, soit pour les sources elles-mêmes, soit pour l'exécution du puits. Ces sources importantes, qui alimentent en eau potable toute la région de Vevey-Montreux, sont au nombre de deux: la source de Repremier, au Nord, captée à l'altitude de 543 mètres et la source du Confin du Renard, au Sud, captée à l'altitude de 530 mètres. Leur débit peut atteindre 16 000 litres par minute pour la première et 10 000 litres par minute pour la seconde.

En exécutant le puits blindé on pouvait craindre de polluer ces sources, de les détourner ou de les tarir partiellement, voire complètement. D'autre part, le danger d'une invasion subite de plusieurs milliers de litres/minute dans le puits nous a incité à prendre en cours d'exécution un certain nombre de précautions.

L'étude détaillée, élaborée par Monsieur Norbert géologue, a montré qu'il fallait, à partir de la cote 420 mètres déjà, effectuer un certain nombre de forages de reconnaissance avant l'excavation du puits. Ces premiers sondages, non carottés, avaient uniquement pour but de détecter une présence d'eau extraordinaire en avant du front d'attaque.

C'est ainsi que le deuxième forage, partant de la cote 437 mètres, devait rencontrer, à une distance située entre 10 et 13 m de son point de départ, une venue d'eau de 17 l/min sous une pression de 0,5 kg/cm². Le forage s'étant éboulé, il fut reforé; la zone aquifère de 10 à 13 m fournit alors 100 l/min sous une pression de 5 kg/cm². On pouvait dès lors craindre que d'autres pertes de charge n'empêchent d'observer les 9,5 kg/cm² de pression que devait avoir

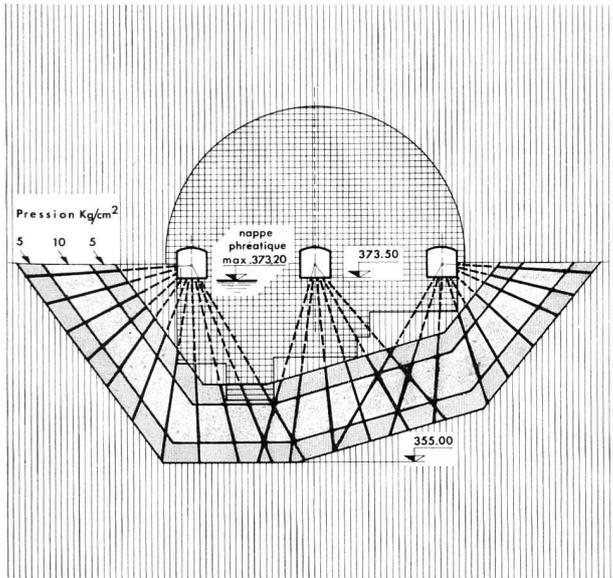


Fig. 6 Centrale de Veytaux (calcaire marneux du Dogger).
Disposition des injections pour la réalisation d'un couvage étanche.

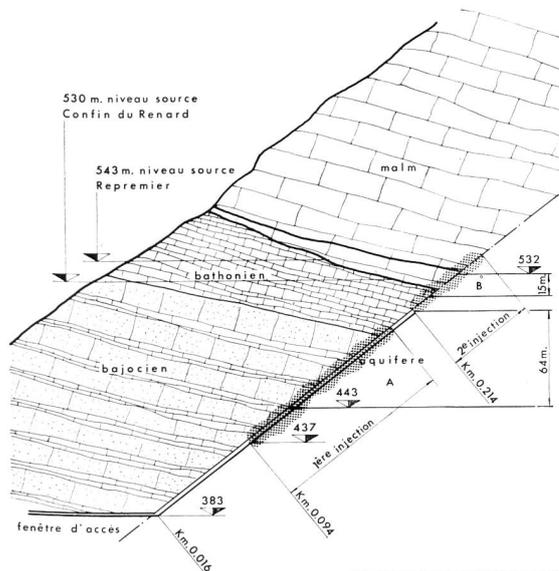


Fig. 8 Puits blindé. Zone des sources de Repremier et du Confin du Renard. Profil en long géologique.

Fig. 7 Centrale de Veytaux. Passage du canal de fuite sous les voies du chemin de fer. Effet des injections de coulis de bentonite suivies d'injections de ciment, dans les remblais et la moraine. (Photo Jean Charpié, Lausanne)



théoriquement le réseau aquifère relié aux sources de Grandchamp.

Il fut alors décidé de suspendre les travaux d'excavation et d'entreprendre un nouveau forage, carotté, de 86 mm de diamètre au départ et de la plus grande longueur possible.

Précisons que le puits blindé traverse, de bas en haut, les couches géologiques du Bajocien, du Bathonien et du Malm. Les deux couches inférieures sont en principe imperméables, tandis que le Malm est une roche perméable en grand. La source du Confin du Renard se trouve d'ailleurs à la limite du Bathonien et du Malm (voir fig. 8).

Le forage effectué à partir de la cote 437 mètres a été poursuivi sur une longueur de 146 m environ. Il a permis de tirer les conclusions suivantes:

- présence entre les cotes 443 et 507 d'une zone aquifère indépendante des sources, appelée par la suite aquifère «A», située dans le Bathonien et le Bajocien
- présence entre les cotes 517 et 532 d'une deuxième zone aquifère, appelée aquifère «B», située partiellement dans le Bathonien et dans le Malm.

L'injection de l'aquifère A fut alors décidée en exécutant quatre auréoles de six forages chacune, dont les longueurs étaient respectivement de 15, 33, 65 et 90 m. Dans une zone particulièrement mauvaise, située entre 55 et 65 m le traitement a été renforcé par deux auréoles supplémentaires, de respectivement 100 et 65 m de longueur.

Ce traitement a absorbé 158 t de ciment à des pressions de refus variant de 15 à 80 kg/cm², soit une moyenne de 1,76 t/m' de puits traité et de 0,1 t/m' de forage injecté.

L'excavation du puits à pleine section put alors être reprise jusqu'à la cote 510, soit sur une longueur de 120 m. Le traitement s'est révélé parfaitement efficace puisque le débit des eaux résiduelles est resté nettement inférieur à 1 l/s, alors que le débit avant traitement avait atteint 100 l/s dans le forage de reconnaissance, en 68 mm de diamètre.

L'avancement fut arrêté à la cote 510 afin de reconnaître l'aquifère B. Trois forages ont été exécutés, qui tous trois rencontrèrent de l'eau en faible quantité, d'abord légèrement au-dessous du contact tectonique Dogger-Malm, puis en quantité nettement plus grande au-dessus de celui-ci.

La mesure des pressions permettait d'affirmer que ces forages avaient atteint une nappe en relation avec les sources. Il restait à savoir si on se trouvait dans une zone d'alimentation des sources — auquel cas les coulis d'injection pouvaient être entraînés vers elles et les troubler, voire diminuer leur débit — ou bien si l'eau rencontrée appartenait à des cheminements parallèles et échappait au captage, ce qui écartait tout danger de perturbation des sources.

Pour lever ces doutes un essai de marquage au sel a été exécuté: trois tonnes de sel, à raison de 30 à 40 l/min pendant 12 heures environ, ont été envoyées dans les trous de forage, ce qui représente l'injection d'environ 13 700 litres de saumure, suivie d'injection d'eau claire pendant 10 heures. Le résultat de l'essai fut négatif: les injections de coulis de ciment purent alors être commencées avec un minimum de crainte.

La quantité totale injectée a été de 36 t de ciment soit 0,6 t/m' de puits traité et 0,05 t/m' de forage.

Dans les roches finement fissurées du Dogger, le coulis utilisé avait la même composition que celui de l'aquifère A: trois parties d'eau pour une partie de ciment. La pression de refus a été de 10 kg/cm² pour commencer et a atteint 40 kg/cm² par la suite; l'absorption a été de 9 tonnes. Par contre, dans la roche grossièrement fissurée du Malm la composition du coulis était de 1/1, la pression de 15 à 40 kg/cm²; l'absorption fut de 27 tonnes. Le dernier forage de contrôle est resté parfaitement sec bien qu'il ait rencontré à 60 m une fissure restée ouverte.

Les sources, qui pendant ces opérations ont été constamment surveillées par le Service des Eaux de Vevey-Montreux, n'ont jamais été troublées. L'excavation du puits a pu ensuite reprendre normalement. Le débit maximum des venues d'eau rencontrées dans la deuxième zone n'a jamais dépassé 16 l/s et aucune perturbation n'a été remarquée dans les sources de Grandchamp.

Choix de la puissance installée à la Centrale de Veytaux

Le problème du choix de la puissance de la centrale lors de l'établissement du projet de 1944 était étroitement circonscrit par la quantité d'eau disponible et la capacité de la retenue et ne laissait plus qu'une option ouverte: la durée

saisonnaire pendant laquelle on désirait produire l'énergie et la vendre à des conditions avantageuses. Avec l'augmentation de la demande d'énergie de pointe, la puissance passa de 44 MW à 90 MW pour se fixer à 120 MW en 1958. On prévoyait alors d'installer une pompe de 40 MW destinée à parfaire le remplissage de l'accumulation en année sèche. Nos propositions d'installer d'emblée trois pompes de 40 MW rencontrèrent alors peu d'enthousiasme.

Cependant depuis quelques années, une rapide évolution des idées s'est manifestée dans le domaine des installations hydro-électriques. La notion de revalorisation journalière massive de l'énergie dite «de déchet» par le truchement d'un ensemble de pompes et de turbines fonctionnant entre deux bassins est devenue peu à peu familière. Parallèlement, on devait constater une modification rapide du coût de la construction: l'augmentation prévisible des devis initiaux faisait petit à petit glisser la réalisation d'un aménagement simple vers la zone des travaux difficilement rentables. Il était devenu nécessaire de trouver un moyen d'abaisser le coût spécifique de l'installation ou d'en augmenter le rapport.

Cette évolution, épaulée par le progrès dans la construction des pompes de haute chute (qu'on nous passe cet euphémisme), a permis d'envisager l'installation de pompes à forte puissance dans l'aménagement de la chute Hongrin-Léman. Cette conception nouvelle introduisait une infinité de possibilités parmi lesquelles il s'agissait de saisir la plus intéressante.

Les décisions prises en faveur de la mise en chantier à Vouvry, d'une centrale thermique de 300 MW, encourageaient le Maître de l'Oeuvre à prendre pour la centrale de Veytaux des dispositions permettant l'utilisation la plus complète du ruban d'énergie fourni par les groupes thermiques et fournissaient ainsi aux Forces Motrices de l'Hongrin-Léman un motif supplémentaire puissant de s'équiper en vue de la revalorisation d'énergie journalière.

Le problème du choix de la puissance se posait dès lors en ces termes. Etant donné:

- un apport des cours d'eau naturels au niveau de la retenue de 100×10^6 m³/an environ, susceptibles de produire 200 GWh/an environ,
- une capacité utile de l'accumulation de 52×10^6 m³ environ,

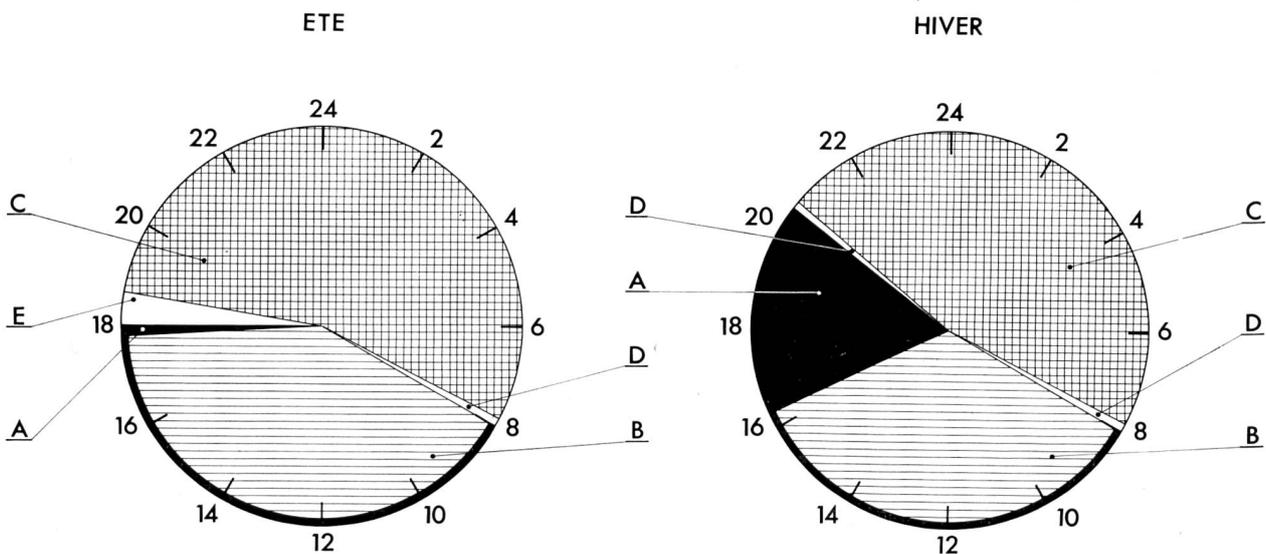


Fig. 9 Régime journalier — Répartition idéale des temps de fonctionnement dans une journée moyenne.
A) Turbinage des apports naturels B) Turbinage de revalorisation C) Pompage D) Temps de manœuvre E) Temps de manœuvre et réserve.

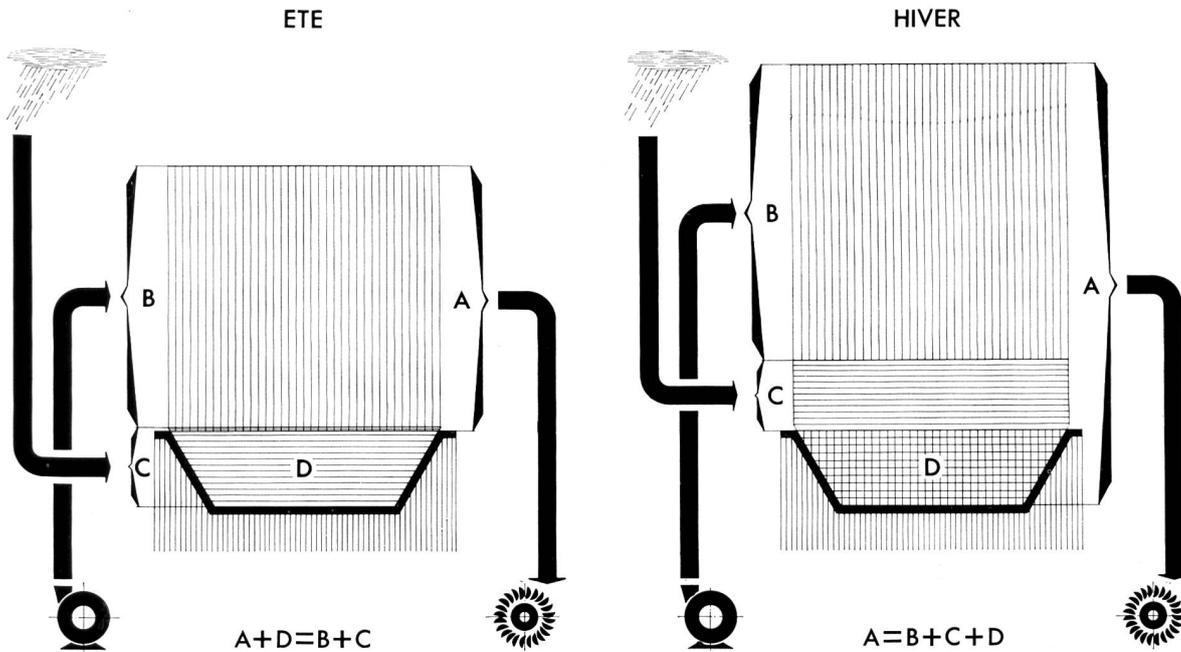


Fig. 10 Régime saisonnier — Bilan d'eau dans le cas d'une utilisation maximum (idéale) des machines.
A) Volume utilisé B) Volume refoulé C) Volume des apports naturels D) Volume du lac d'accumulation.

- le diagramme moyen d'hiver et le diagramme moyen d'été de la valeur de l'énergie au cours de la journée,
- le rendement énergétique d'environ 1/1,4 que l'on est en droit d'attendre du cycle de pompage-turbinage de l'installation Hongrin-Léman,
- les échelons acceptables de puissance unitaire des groupes,
- toutes considérations économiques faisables relativement au prix des constructions, des machines et des appareils,

quel pouvait être le meilleur rapport entre puissance installée en pompes et puissance installée en turbines et quelles pouvaient être les valeurs de ces puissances qui permettent d'atteindre un coefficient d'utilisation aussi élevé que possible?

En d'autres termes, compte tenu de toutes les données du problème, comment éviter en hiver comme en été les temps morts où l'on ne peut refouler l'eau parce que l'énergie est au prix fort et où l'on ne peut produire l'énergie soit parce que la tranche d'eau est épuisée, soit parce que cette énergie est au prix faible.

La solution a été trouvée dans l'adoption d'une puissance des pompes nominalement égale à celle des turbines et dans l'adoption également d'une puissance installée nominale de 240 MW répartie en 4 groupes identiques de 60 MW, solution qui, avec les hypothèses connues, doit assurer un heureux équilibre du fonctionnement tant en période d'été où le lac d'accumulation se remplit, qu'en période d'hiver, plus importante, où l'on soutire l'énergie saisonnière accumulée.

Dans les deux régimes, l'utilisation des heures de la journée est aussi complète que possible comme l'illustrent les diagrammes des figures 9 et 10.

L'interférence entre le jeu saisonnier classique de l'accumulation-prélèvement et le jeu quotidien de revalorisation sera de la sorte, lorsque la centrale sera complètement équipée, aussi harmonieux que possible (rappelons qu'actuellement la première étape de construction prévoit le gé-

nie civil pour 240 MW mais seulement 2 groupes de 60 MW installés à l'usine).

L'avenir montrera si les hypothèses encadrent bien la réalité et tout particulièrement si l'association, première du genre dans notre pays, d'une puissante centrale thermique avec une installation de pompage-turbinage de puissance comparable, répond aux espoirs que leurs constructeurs ont mis en elle.

Soutènement de la voûte de la centrale

Lors de la mise en soumission de la centrale souterraine, nous avons prévu de soutenir la voûte par un revêtement classique en béton dont l'épaisseur pouvait varier, suivant la roche rencontrée, entre 1,80 m au maximum aux naissances et 0,80 m au minimum à la clé.

La nature de la roche mise à jour par les galeries de base — moins mauvaise dans l'ensemble que ne le laissait prévoir la galerie de sondage exécutée en 1948 puis prolongée en 1958 — ainsi que diverses études et recherches, nous ont amenés à remplacer le soutènement de la voûte par un jeu de tirants précontraints. Cette solution présentait de grands avantages du point de vue de la rapidité du programme d'exécution; du point de vue du coût elle était équivalente mais présentait à notre avis beaucoup moins d'imprévus. Nous donnons ci-après un aperçu des recherches que nous avons entreprises à ce propos dans le Laboratoire de photoélasticité de la CETP.

A l'origine, l'idée de l'ancrage ou boulonnage en rocher pour assurer la stabilité des cavernes, se limitait au cas où l'on pouvait clouer la roche ébranlée autour d'un profil d'excavation à une couche non altérée et solide située au-dessus. Selon cette solution, l'ancrage n'est possible que dans le cas où une bonne roche se trouve à une profondeur raisonnable autour de l'excavation. Dans une certaine mesure, cette solution est valable lorsqu'il s'agit de galeries ou de cavernes dont le plafond est plan.

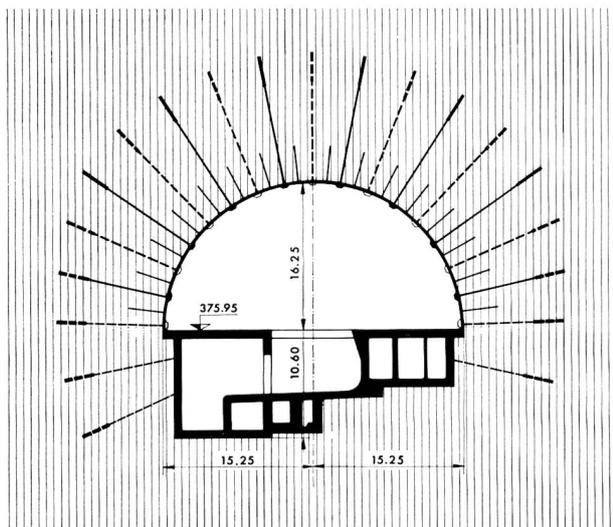


Fig. 11 Centrale de Veytaux.
Disposition de principe des tirants précontraints.

Toutefois, lorsqu'on creuse des tunnels et des cavernes d'une section plus ou moins circulaire, les conditions sont différentes. Rabcewicz a démontré par un essai sur modèle d'un tunnel, que théoriquement le principe de l'ancrage peut être également utilisé dans un terrain sans cohésion, à condition que la disposition des ancrages soit telle qu'elle crée une voûte active, et que des mesures soient prises pour empêcher la dislocation des matériaux entourant le profil d'excavation. Dans son traité de mécanique des roches, Talobre expose une idée semblable pour les cavernes en rocher.

Le principe d'un soutènement par ancrages se distingue de celui d'un soutènement ordinaire par le fait qu'on constitue au sein du massif rocheux, à l'aide des ancrages (tirants précontraints), une voûte active qui forme un anneau por-

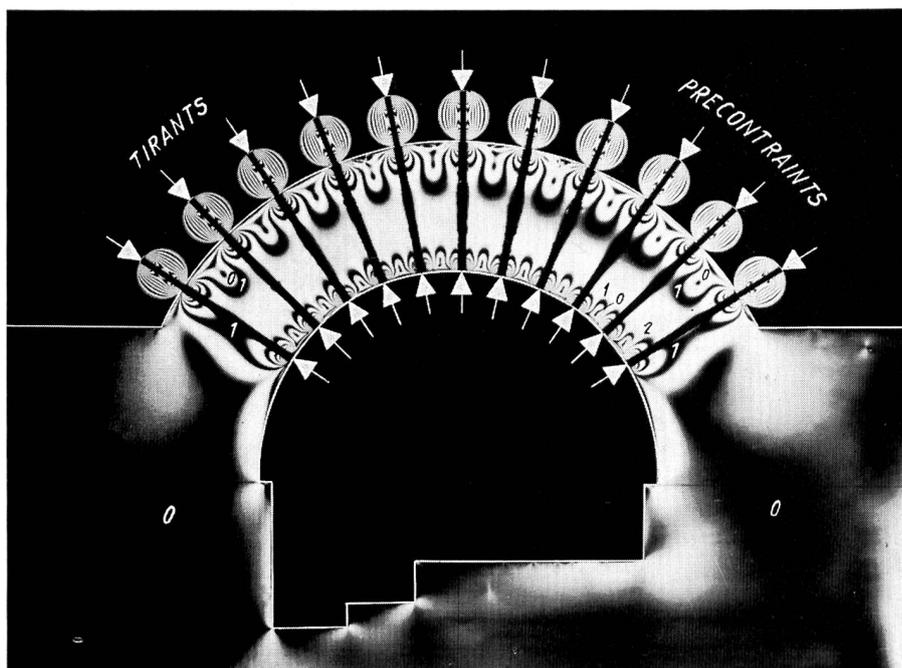


Fig. 12
Centrale de Veytaux.
Effet des tirants précontraints,
rocher supposé homogène.
Lignes isochromes
en lumière de sodium
polarisée circulairement.
Matière VP 1527.

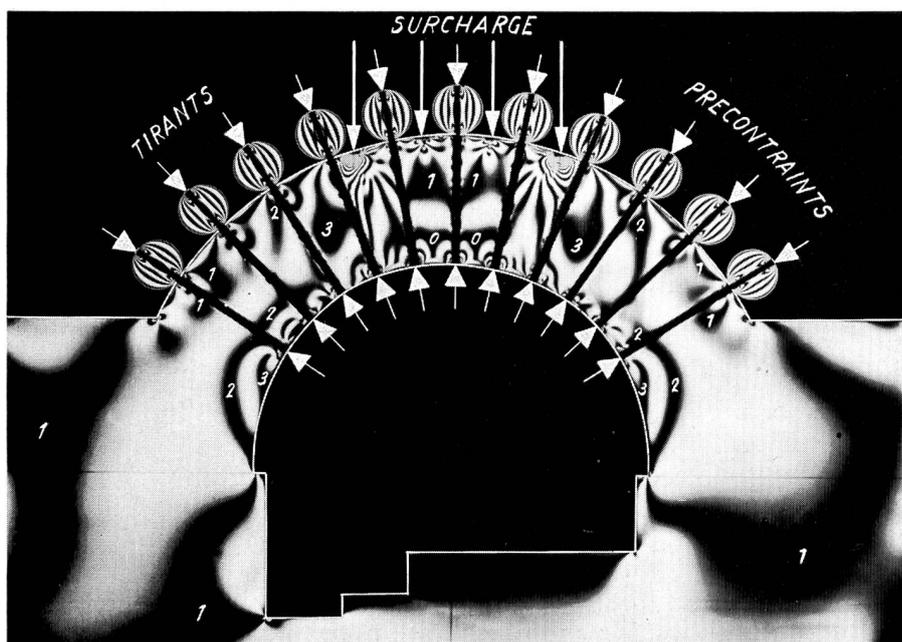


Fig. 13
Centrale de Veytaux.
Effet d'une surcharge verticale
sur les tensions dans les tirants
précontraints. Rocher supposé
homogène. Lignes isochromes
en lumière de sodium
polarisée circulairement.
Matière VP 1527.

teur. L'ancrage produit, dans la zone comprimée entre la tête de l'ancrage et le scellement, un serrage de la roche dans les sens radial et tangentiel (fig. 11). L'épaisseur de la voûte active doit être suffisante pour résister aux pressions de la roche.

Il est évident que la disposition des ancrages doit être adaptée à la nature du rocher; dans un terrain plastique, une telle solution n'est pas indiquée.

Les expériences faites ces dernières années avec des tirants précontraints en rocher permettent aujourd'hui d'envisager d'assurer d'une manière permanente la stabilité d'une caverne.

Dans le cas d'un tunnel ou d'une caverne suffisamment longue on peut admettre que l'état de déformation est bidimensionnel. Il peut être remplacé pour le calcul et pour un essai sur modèle réduit par un état de contrainte bidimensionnel équivalent. La série des essais que nous avons effectuée pour une section de la caverne de la Centrale de Veytaux avait essentiellement pour but de nous renseigner sur l'état de contrainte créé par les ancrages en fonction de leur écartement et sur l'effet d'une surcharge verticale qui s'exerce dans la région de la clé de la voûte active sur les tensions dans les tirants.

Dans cette première étape d'une série d'essais, nous n'avons pas réalisé la pression verticale et horizontale qui s'exerce sur l'ensemble de la section du tunnel par le terrain. A titre d'exemple, nous montrons ci-contre quelques images caractéristiques des lignes isochromes dans le cas d'un rocher supposé homogène et d'un rocher supposé fracturé régulièrement. La distance entre les ancrages est égale à environ 60% de la longueur effective des tirants (fig. 12, 13, 14).

Les résultats qualitatifs de ces essais nous ont permis de nous rendre compte dans quelle mesure les tensions dans les tirants précontraints peuvent être modifiées dans le temps par un effet de surcharge correspondant à un nouvel état d'équilibre.

Nous espérons avoir prochainement l'occasion de revenir sur les deux essais décrits ci-dessus, effectués dans notre Laboratoire de photoélasticité.

TABLEAU DES CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DE L'AMENAGEMENT

Galeries d'adduction :	Longueur totale	20,8 km
Barrage et accumulation :		
Volume d'eau annuel moyen disponible, déduction faite des pertes diverses et des débits réservés pour la pêche		
		102 070 000 m ³
dont, en hiver		
		85 600 000 m ³
Capacité de la retenue: totale		
		53 200 000 m ³
	utile	52 100 000 m ³
Cube total du béton des barrages		
		345 000 m ³
Hauteur du barrage sud		
		90 m'
Hauteur du barrage nord		
		125 m'
Galerie d'aménée :		
	longueur	7,98 km
	diamètre	4,00 m
Puits blindé :		
	longueur	1 220,0 m
	diamètre	2,9 m
	pente	78,66 %
Chute brute maximum (du lac plein à l'axe des turbines)		
		878,50 m
Chute nette moyenne d'hiver (pour une puissance maximum installée de 240 MW: k = 75 en galerie et 85 en blindage dans la formule de Strickler)		
		844,00 m
Centrale		
	Première étape	Etape finale
Débit nominal installé: turbines		
	16,28 m ³ /s	32,56 m ³ /s
pompes		
	12,38 m ³ /s	24,76 m ³ /s
Nombre de groupes turbines-pompes		
	2	4
Puissance unitaire des turbines et des pompes		
	60 MW	60 MW
Puissance totale installée		
	120 MW	240 MW
Production annuelle moyenne avec les apports naturels: totale		
	203,1 GWh	203,1 GWh
	hiver	169,4 GWh
Absorption maximum en pompage		
		750,0 GWh
Restitution maximum en pompage		
		535,0 GWh

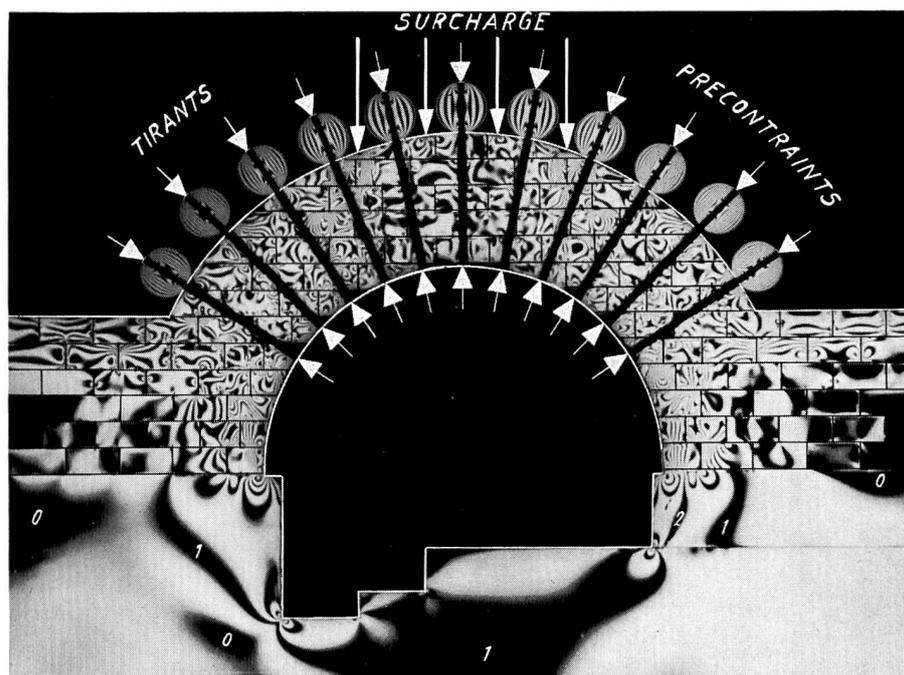


Fig. 14
Centrale de Veytaux.
Effet d'une surcharge verticale sur les tensions dans les tirants précontraints.
Rocher supposé fracturé.
Lignes isochromes en lumière de sodium polarisée circulairement.
Matière VP 1527.

Au mois d'avril 1965, les grandes entreprises de production et de distribution d'énergie électrique de notre pays ont donné connaissance au Département fédéral des transports et communications et de l'énergie d'un rapport intitulé: «Perspectives d'approvisionnement de la Suisse en électricité». Ce document complétait en fait une première étude effectuée par les mêmes sociétés en 1963 et remise à l'époque au même département.

La presse a reçu, lors de la conférence tenue le 10 mai 1965 à l'Hôtel Schweizerhof à Berne, toutes les explications justifiant les conclusions auxquelles sont arrivés les auteurs du rapport. Ces conclusions peuvent se résumer brièvement comme suit:

- a) les forces hydrauliques nationales encore utilisables doivent être équipées, dans la mesure où leur aménagement est économiquement rentable;
- b) il serait opportun de construire quelques centrales thermiques classiques d'une puissance totale d'environ 900 MW, afin de satisfaire les besoins en énergie électrique d'hiver qui ne seront pas couverts par les installations hydro-électriques ces prochaines années;
- c) à partir de 1970/71, il sera possible d'introduire des centrales atomiques de manière rentable dans le système actuel de production du pays, grâce à une durée d'utilisation suffisante.

Il est intéressant de constater que le rapport établi en 1965 pour toute la Suisse formule des conclusions semblables à celles soumises en 1959 déjà par la direction de la S. A. l'Energie de l'Ouest-Suisse (EOS) à ses autorités administratives, qui d'ailleurs les ont approuvées sans restriction.

En 1959, il s'agissait en effet pour EOS de participer dans une mesure prudente du point de vue économique, aux Forces Motrices Valaisannes S. A. et à Electra-Massa, tout en améliorant dans la limite du possible le rendement des installations de Salanfe S. A. A longue échéance, ce programme hydraulique restreint ne suffisant pas, il fallait rechercher d'autres sources d'énergie afin d'assurer à la Suisse romande l'énergie dont elle aurait besoin dans l'avenir.

EOS, dont les principaux actionnaires sont des entreprises d'électricité cantonales ou communales, n'est pas une société de partenaires; chaque actionnaire est libre d'acquiescer où il le veut l'énergie complémentaire dont il a besoin. La seule restriction est qu'à conditions égales la préférence doit être donnée à EOS, c'est-à-dire à la société à laquelle ces actionnaires sont financièrement intéressés et qui jusqu'ici, dans les bonnes comme dans les mauvaises périodes, a toujours servi au mieux ses actionnaires-preneurs d'énergie.

Du fait de ses participations à Grande Dixence S. A. (60 %) et à Salanfe S. A. (50 %) et grâce aussi à ses usines à accumulation à haute chute (Chandoline, Martigny-Bourg, Fully), EOS dispose d'énergie d'hiver de haute qualité. La durée d'utilisation moyenne des accumulations en question ne dépasse pas en effet 2200 heures, alors que l'énergie complémentaire d'hiver dont ont besoin les actionnaires-preneurs suisses romands a une durée d'utilisation hivernale variant entre 2500 et 3000 heures. EOS devait donc rechercher en 1959 déjà de nouvelles sources d'énergie hivernale, dont la rentabilité était assurée pour des durées d'utilisation plus longues, soit 4000 à 5000 heures, de ma-

nière à obtenir avec l'énergie produite dans les installations à haute chute un mélange permettant d'abaisser également le prix moyen général de revient du kWh.

Deux possibilités permettaient d'obtenir ce résultat: soit prévoir la construction d'une centrale thermique classique importante, soit songer à l'énergie nucléaire. En 1959, la production d'énergie atomique industrielle était en plein stade de développement; par ailleurs, EOS, soucieuse des intérêts économiques de la Suisse entière, hésitait à acquiescer une centrale atomique à l'étranger. Cependant, l'argument principal favorable à la construction d'une centrale thermique classique fut la création dans la plaine du Bas-Rhône des Raffineries du Rhône S. A., qui devaient être en mesure de fournir le combustible nécessaire à des prix intéressants. L'étude d'une installation thermique classique fut donc entreprise dès 1959, en collaboration avec les Raffineries du Rhône S. A. Cette étude aboutit à la création, en 1962, de la société «Centrale Thermique de la Porte-du-Scex S. A. (CTPS)» (aujourd'hui: «Centrale Thermique de Vouvy S. A. (CTV)»), à laquelle sont intéressés, à part EOS, l'électrochimie avec l'Aluminium Suisse S. A. et la Lonza S. A., les Chemins de fer fédéraux suisses et la Société Romande d'Electricité en tant que distributeur d'énergie de la région.

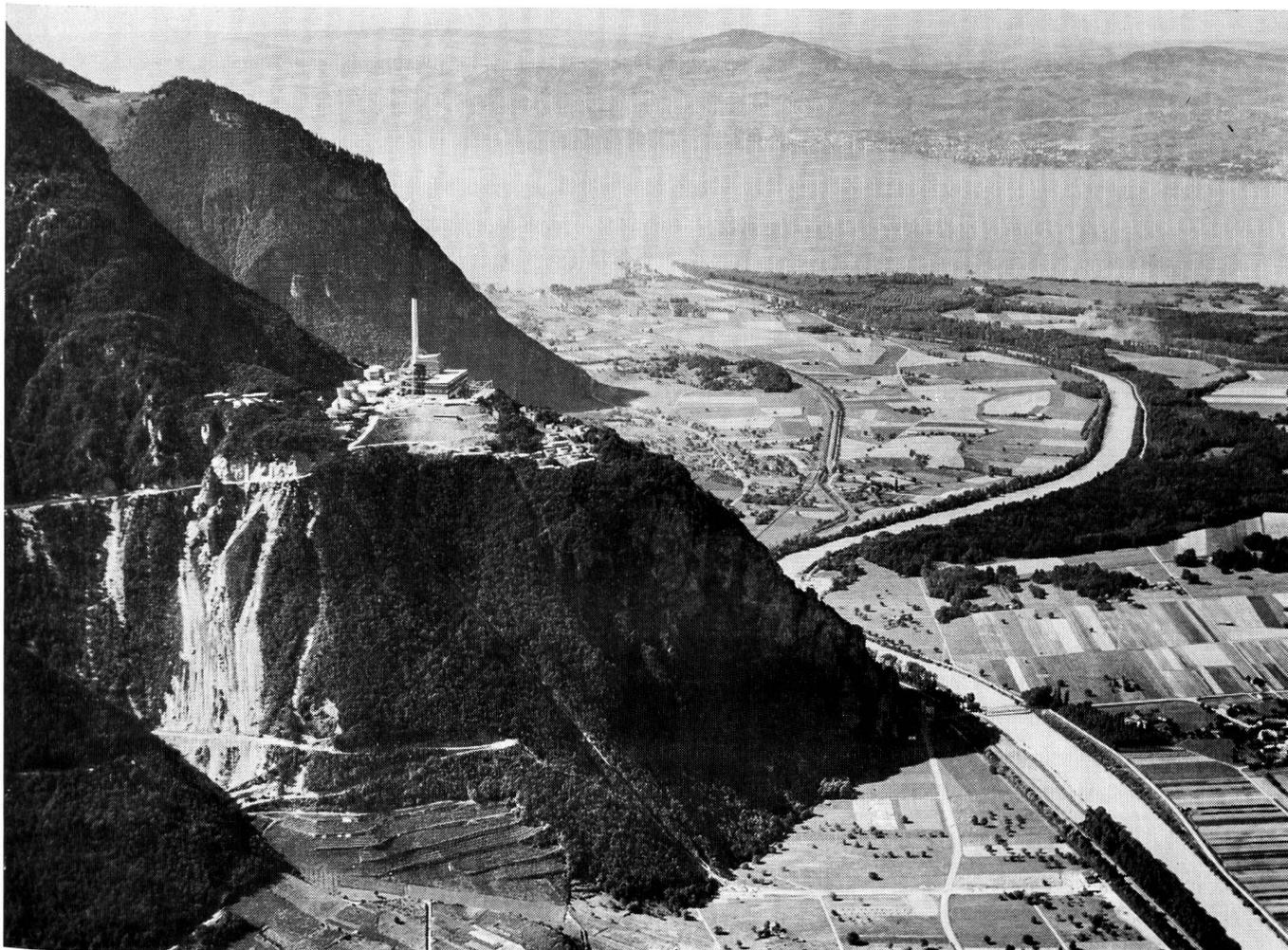
La participation des sociétés d'électrochimie à la Centrale Thermique de Vouvy S. A. comporte l'avantage d'assurer une durée d'utilisation des installations assez longue et met en outre à disposition de cette électrochimie de l'énergie d'hiver à un prix abordable. Pour les CFF, la CTV représente une source d'énergie très utile, particulièrement dans les années de faible hydraulité. Quant à EOS, elle obtiendra, comme il est dit plus haut, de l'énergie de moyenne qualité lui permettant de mettre à la disposition de ses actionnaires-preneurs le genre d'énergie dont ils ont besoin à des prix intéressants. En signant un contrat avec les Forces Motrices de l'Hongrin S. A., EOS s'est en outre assuré la possibilité d'ici quelques années de transformer, grâce au pompage des eaux du lac Léman, l'énergie d'heures creuses produite dans la centrale thermique en énergie de qualité.

Une fois que l'ensemble de la puissance installée de la centrale thermique de Vouvy sera utilisé pendant toute la période d'hiver, la possibilité subsistera d'introduire l'énergie nucléaire dans le complexe énergétique de la Suisse romande. Il faut espérer que d'ici là (environ 1972/73) l'industrie suisse sera en mesure de construire des réacteurs nucléaires à des conditions semblables à celles offertes par l'étranger.

Avec ses usines à accumulation à haute chute, ainsi que ses participations à Grande Dixence S. A. et à d'autres installations hydrauliques; étant donné les intérêts importants engagés à la Centrale Thermique de Vouvy S. A.; compte tenu enfin de la possibilité de valoriser de l'énergie d'heures creuses grâce aux installations de pompage de l'Hongrin, EOS disposera d'ici peu d'un complexe idéal de production énergétique. Cet ensemble sera complété bientôt par un réseau maillé à 220 kV assurant l'alimentation de tous les centres névralgiques de consommation d'énergie de la Suisse romande par trois lignes à haute tension utilisant toutes un tracé différent. EOS peut en outre, avec ses interconnexions directes en 220 kV avec les réseaux français et italien, valoriser ses disponibilités excédentaires en périodes de forte hydraulité.

Le Conseil d'administration de la Centrale Thermique de Vouvry S. A. a chargé EOS de l'étude et de la construction de l'usine de Chavalon. Les parties essentielles de cette première centrale thermique nationale ont été commandées à de grandes sociétés suisses spécialisées. Grâce aux relations de confiance qui se sont créées dès le début

entre les bureaux techniques d'EOS et ceux de tous les fournisseurs, il a été possible de terminer les travaux de montage du premier groupe dans un temps record. Hommage doit être rendu ici à tous les artisans d'un tel succès et particulièrement à l'industrie suisse qui s'est montrée une fois de plus digne de sa réputation.



Vue générale de la centrale thermique de Chavalon sur Vouvry

(Swissair-Photo S. A.)

D'AIGLE A CHAVALON EN PASSANT PAR LA PORTE-DU-SCEX

par Christophe Babaiantz, Dr en droit, Lausanne

C. D. 621.311.22

L'histoire de la centrale thermique de Vouvry est intéressante à plus d'un titre. Sur le plan humain, elle montre quel est le prix de la réussite face aux impératifs techniques, naturels et économiques, aux intérêts politiques et à une opinion publique exploitée dans son ignorance et sensibilisée au plus haut degré par de virulentes campagnes de presse et par une information souvent dépourvue d'objectivité. Sur le plan technique, elle prouve que les conditions mouvantes de la réalité exigent de l'ingénieur une grande faculté d'adaptation et un esprit sans cesse créateur d'idées nouvelles et originales. Sur le plan économique enfin, elle permet de retracer les péripéties de l'introduction dans notre pays d'une nouvelle forme de production d'énergie par une usine à grande puissance.

Il nous a paru utile de rappeler ici les événements qui ont précédé la mise en service récente du premier groupe turbo-alternateur de 150 MW installé dans l'usine de Chavalon sur Vouvry.

L'idée d'une centrale thermique est étroitement liée à celle d'une raffinerie dans la plaine du Bas-Rhône, mais elle lui est cependant postérieure. En effet, le premier projet tendant à implanter une industrie pétrolière dans la région d'Aigle ne prévoyait qu'une raffinerie et était le fait des promoteurs des Raffineries du Rhône S. A. Ce projet devait se réaliser sur le territoire de la commune d'Aigle (Vaud), la raffinerie étant reliée à Gênes par un oléoduc empruntant, dans la majeure partie de son tracé sur sol suisse, le territoire du Valais. Le gouvernement de ce can-